

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-145134

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月28日

(51) Int. Cl. ⁶

識別記号

F I

H01L 21/318

H01L 21/318

M

21/316

21/316

M

21/768

21/90

K

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全17頁)

(21) 出願番号 特願平9-318975

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿 2丁目 4番 1号

(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 11月 5 日

(72) 発明者 両角 幸男

長野県諏訪市大和 3丁目 3番 5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

(72) 発明者 旭 剛典

長野県諏訪市大和 3丁目 3番 5号 セイコ

ーエプソン株式会社内

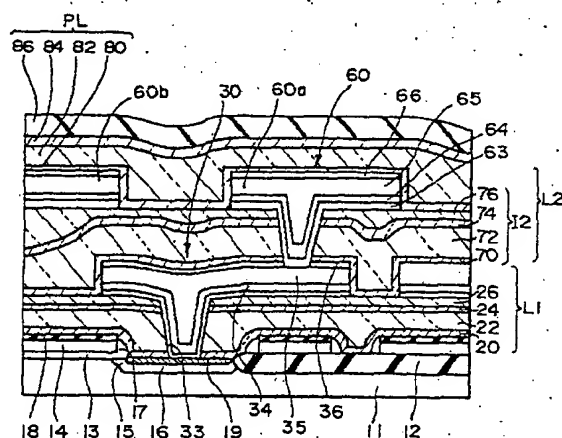
(74) 代理人 弁理士 井上 一 (外 2 名)

(54) 【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 平坦性の改善と層間容量の低減とにより、信頼性並びにデバイス特性が向上された保護絶縁膜を有する半導体装置およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 半導体装置は、MOS素子を含む半導体基板 11、前記半導体基板の上に形成された複数の配線領域 L1、L2 および該配線領域のうちの最上層に位置する配線領域の上に形成された保護絶縁膜 PL を含む。前記保護絶縁膜 PL は、第 1 のシリコン酸化膜 80、第 1 のシリコン酸化膜の上に形成され、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第 2 のシリコン酸化膜 82、および最上層を構成するシリコン窒化膜 86、を含む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成された複数の配線領域および該配線領域のうちの最上層に位置する配線領域の上に形成された保護絶縁膜を含み、

前記保護絶縁膜は、

第1のシリコン酸化膜、

前記第1のシリコン酸化膜の上に形成され、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第2のシリコン酸化膜、および最上層を構成するシリコン窒化膜、

を含む半導体装置。

【請求項2】 請求項1において、

さらに、前記第2のシリコン酸化膜の上に、多孔性の第3のシリコン酸化膜を有する半導体装置。

【請求項3】 請求項1または請求項2において、

前記第1のシリコン酸化膜は、膜厚が50～500nmである半導体装置。

【請求項4】 請求項1ないし請求項3のいずれかにおいて、

前記第2のシリコン酸化膜は、膜厚が前記第1のシリコン酸化膜によって構成される凹凸の最上面が被覆される膜厚を有する半導体装置。

【請求項5】 請求項1ないし請求項4のいずれかにおいて、

前記シリコン窒化膜は、膜厚が300～1500nmである半導体装置。

【請求項6】 素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成された複数の配線領域および該配線領域のうちの最上層に位置する配線領域の上に形成された保護絶縁膜を含む半導体装置の製造方法であって、

前記保護絶縁膜を形成する工程は、少なくとも以下の工程(a)～(d)を含む半導体装置の製造方法。

(a) シリコン化合物と、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種とを化学気相成長法によって反応させて第1のシリコン酸化膜を形成する工程、

(b) シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第2のシリコン酸化膜を形成する工程、

(c) 350～500℃の温度でアニール処理を行う工程、および

(d) シリコン窒化膜を形成する工程。

【請求項7】 請求項6において、

前記工程(b)の後に、シリコン化合物、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種、および不純物を含む化合物を化学気相成長法によって反応させて多孔性の第3のシリコン酸化膜を形成する工程(e)、を含む半導体装置の製造方法。

【請求項8】 請求項6または請求項7において、

前記工程(b)で用いられるシリコン化合物は、モノシ

ラン、ジシラン、 SiH_2Cl_2 、 SiF_4 、 CH_3SiH_3 などの無機シラン化合物、およびトリプロピルシラン、テトラエトキシシランなどの有機シラン化合物から選択される少なくとも1種である半導体装置の製造方法。

【請求項9】 請求項6ないし請求項8のいずれかにおいて、

前記工程(b)は、前記シリコン化合物が無機シラン化合物であって、0～20℃の温度条件下で減圧化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項10】 請求項6ないし請求項8のいずれかにおいて、

前記工程(b)は、前記シリコン化合物が有機シラン化合物であって、100～150℃の温度条件下で減圧化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項11】 請求項6ないし請求項10のいずれかにおいて、

前記工程(a)は、300～500℃の温度条件下でプラズマ化学気相成長法によって行われる半導体装置の製造方法。

【請求項12】 請求項6ないし請求項11のいずれかにおいて、

前記工程(a)で用いられるシリコン化合物は有機シラン化合物である半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体装置およびその製造方法に関し、特にハーフミクロン以下に微細化された金属配線の上に形成される保護絶縁膜を有する半導体装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【背景技術】 LSI等に用いられる半導体装置の最上層の金属配線層上には、物理的損傷並びにコンタミネーションや水分の侵入を防ぐために、保護絶縁膜が形成されている。保護絶縁膜としては、例えば低温でプラズマ気相成長させたシリコン窒化膜が一般的に用いられる。また、保護絶縁膜として、シリコン窒化膜の下層にストレス緩和のためのシリコン酸化膜を形成した積層構造を有するものも用いられている。このような積層構造を有する保護絶縁膜として、例えばモノシランと酸素あるいは一酸化二窒素を気相成長させて形成されたシリコン酸化膜、あるいはこれにリンをドーブしたPSG（リンガラス）膜、あるいは、SOG（スピン オン グラス）膜と、モノシランとアンモニアあるいは窒素ガスを用いたプラズマ化学気相成長によって形成された、膜厚が1μm程度のシリコン窒化膜とから構成されている。

【0003】 この保護絶縁膜は、フォトリソをマスクにしてドライエッチングあるいはウェットエッチングで選択エッチングされ、外部電極取り出し用のボンディングパッド部を構成するための開口部を有している。

【0004】ところで、半導体装置がサブミクロン以下に微細化されてくると、金属配線層のエッチングによる加工には、異方性ドライエッチングを採用することから、金属配線層の側壁部はほぼ垂直の急峻な傾斜を有する。そして、保護絶縁膜を構成するシリコン酸化膜やシリコン窒化膜はカスピングによって付きまわりが悪いため、金属配線層の特定のスペースにはボイドが形成されやすい。このボイドの部分は、コンタミネーショントラップとなる。また、金属配線層の側壁部および溝部のコーナーでは、シリコン窒化膜が平坦部に比べてその膜厚が極めて薄くなるため、この膜厚が薄い部分から水分やコンタミネーションが侵入しやすく、長期信頼性の点で問題がある。

【0005】さらに、デバイスの動作速度を向上させるためには、層間容量の低減を必要とし、従来では、金属配線層と基板、あるいは上下方向の配線層間の層間容量に注意をはらってきた。しかし、配線スペースの微細化により横方向の層間容量の寄与が大きくなり、そのため、誘電率の高いシリコン窒化膜が同一層における金属配線相互のスペース間に存在する保護絶縁膜の構造では、横方向の層間容量が動作速度等の電気特性上の点で無視できないものとなってきた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、平坦性の改善と、層間容量の低減により信頼性並びにデバイス特性の向上に寄与できる保護絶縁膜を有する半導体装置およびその製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体装置の製造方法は、素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成された複数の配線領域および該配線領域のうちの最上層に位置する配線領域の上に形成された保護絶縁膜を含む半導体装置の製造方法であって、前記保護絶縁膜を形成する工程は、少なくとも以下の工程(a)～(d)を含む。

【0008】(a)シリコン化合物と、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種とを化学気相成長法によって反応させて第1のシリコン酸化膜を形成する工程、

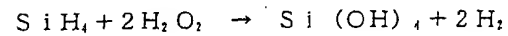
(b)シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第2のシリコン酸化膜を形成する工程、(c)350～500℃の温度でアニール処理を行う工程、(d)シリコン窒化膜を形成する工程。

【0009】この半導体装置の製造方法によれば、工程(b)によって、シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて第2のシリコン酸化膜を形成することにより、平坦性の優れた層を低温で形成することができる。すなわち、この工程(b)で形成される第2のシリコン酸化膜は、それ自体で高い流動性を有し、優れた自己平坦化特性を有する。そのメカニズムは、シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法に

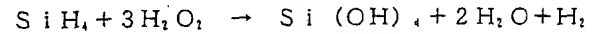
よって反応させると、気相中においてシラノールが形成され、このシラノールがウエハ表面に堆積することにより流動性のよい膜が形成されることによると考えられる。

【0010】例えば、シリコン化合物としてモノシランを用いた場合には、下記式(1)、(1)'などで示される反応でシラノールが形成される。

【0011】式(1)

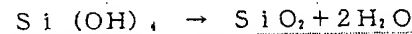


式(1)'



そして、式(1)、(1)'で形成されたシラノールは、下記式(2)で示される重縮合反応で水が脱離することにより、シリコン酸化物となる。

【0012】式(2)



前記シリコン化合物としては、例えばモノシラン、ジシラン、 SiH_3Cl 、 SiF_4 、 CH_3SiH_3 などの無機シラン化合物、およびトリプロピルシラン、テトラエトキシシランなどの有機シラン化合物などを例示することができる。

【0013】また、前記工程(b)の成膜工程は、前記シリコン化合物が無機シリコン化合物の場合には、0～20℃の温度条件下で、前記シリコン化合物が有機シリコン化合物の場合には、100～150℃の温度条件下で、減圧化学気相成長法によって行われることが望ましい。この成膜工程で、温度が前記上限値より高いと、前記式(2)の重縮合反応が進みすぎることにより、第1のシリコン酸化膜の流動性が低くなり、良好な平坦性が得られにくい。また、温度が前記下限値より低いと、チャンパー内での分解水分の吸着およびチャンパー外での結露が発生し、成膜装置のコントロールが困難となる不都合がある。

【0014】前記工程(b)で形成される第2のシリコン酸化膜は、ウエハ基板表面の段差を十分にカバーできる程度の膜厚、すなわち該第2のシリコン酸化膜の下に位置する第1のシリコン酸化膜によって構成される凹凸の最上面が被覆されるのに十分な膜厚で形成されることが望ましい。第2のシリコン酸化膜の膜厚は、その下限値は第2のシリコン酸化膜の下にある第1のシリコン酸化膜の凹凸の高さに依存するが、好ましくは500～1000nmである。第2のシリコン酸化膜の膜厚が前記上限値を超えると、膜自体のストレスでクラックを生ずることがある。

【0015】本発明においては、前記工程(b)の前に、シリコン化合物と、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種とを化学気相成長法によって反応させて、ベース層となる第1のシリコン酸化膜を形成する。このベース層は、それより下層に前記第2のシリコン酸化膜から水分や余分な不純物が移動しないパッシベーション

オン機能、および第2のシリコン酸化膜の密着性を高める機能を有する。

【0016】前記工程(b)の後に、シリコン化合物、酸素および酸素を含む化合物の少なくとも1種、および不純物を含む化合物を化学気相成長法によって反応させて、前記第2のシリコン酸化膜の上に多孔性の第3のシリコン酸化膜を形成する工程(e)を含むことが望ましい。

【0017】この第3のシリコン酸化膜は、キャップ層として機能するだけでなく、多孔性であって、後の工程(c)のアニール処理において、第2のシリコン酸化膜から発生するガス成分を徐々に外部に放出できる。さらに、この第3のシリコン酸化膜は、多孔性であることに加え、該膜にリン、ボロンなどの不純物、好ましくはリンを添加することにより該膜を構成するシリコン化合物のSi-O分子間結合力を弱めることで、該膜の応力を緩和することができ、いわば適度に柔らかく更に割れにくい層を構成できる。第3のシリコン酸化膜に含まれる不純物の濃度は、前述した膜の応力緩和の点を考慮すると、好ましくは1~6重量%である。

【0018】また、第3のシリコン酸化膜は、100~600MPaの圧縮ストレスを有しているため、第2のシリコン酸化膜が重縮合する際に引張ストレスが増大してクラックが入るのを防止する機能がある。さらに、第3のシリコン酸化膜は、第2のシリコン酸化膜の吸湿を防止する機能も有する。

【0019】前記工程(e)は、300~450℃の温度条件下で、1MHz以下の高周波によるプラズマ化学気相成長法によって行われることが望ましい。この温度条件下で成膜を行うことにより、工程(c)のアニールでガス成分がアニール初期段階で抜けやすくなり、デバイスの信頼性が向上する。

【0020】また、前記工程(e)で用いられる、酸素を含む化合物は、一酸化二窒素(N_2O)であることが望ましい。反応ガスとして一酸化二窒素を用いることにより、プラズマ状態の一酸化二窒素は第2のシリコン酸化膜を構成するシリコン化合物の水素ボンド(-H)と反応しやすいので、第3のシリコン酸化膜を成膜中にも第2のシリコン酸化膜のガス化成分(水素、水)の脱離を促進することができる。

【0021】前記工程(e)は、プラズマ化学気相成長法の代わりに、300~500℃の温度条件下で常圧化学気相成長法によって行われてもよい。この場合、前記工程(e)で用いられる前記酸素を含む化合物はオゾンであることが望ましい。

【0022】さらに、前記工程(e)で、前記第2のシリコン酸化膜を成膜する前に、前記第2のシリコン酸化膜をオゾン雰囲気中にさらすことが望ましい。この工程を経ることにより、オゾンが第2のシリコン酸化膜を構成するシリコン化合物の水素ボンド(-H)や水酸基(-

OH)と反応しやすいので、第2のシリコン酸化膜中の水素や水の脱離を促進することができる。

【0023】また、第3のシリコン酸化膜の膜厚は、平坦性およびクラックの点を考慮すると、好ましくは100nm以上である。

【0024】前記工程(c)で、350~500℃の温度でアニール処理を行うことにより、前記工程(b)および(e)で形成された第2および第3のシリコン酸化膜は緻密化され、絶縁性ならびに耐湿性が向上する。

【0025】つまり、第2のシリコン酸化膜についてみると、このアニール処理の初期において、前述した式(2)による重縮合反応が完了し、この反応に伴って生じる水や水素は第3のシリコン酸化膜の孔を介して外部に放出され、第2のシリコン酸化膜は、十分にガス化成分が除去された状態で緻密に形成される。また、第3のシリコン酸化膜は、アニール処理によって、多孔質から緻密な膜になる。

【0026】このアニール処理において、温度を350℃以上とすることにより、第2および第3のシリコン酸化膜を十分に緻密にすることができる。また、アニール温度を500℃を越える温度で行うと、アルミニウムなどの金属あるいは合金からなる金属配線層が熱ダメージを受けやすくなる。

【0027】また、第2のシリコン酸化膜上に多孔性の第3のシリコン酸化膜を形成しておくことにより、工程(c)でのアニール処理において、ウエハを350~500℃の温度下に直接置いた場合のように急激な温度変化があっても、前記第3のシリコン酸化膜が適度な柔らかさを有しかつ急激な水分の放出を制御するため、第2のシリコン酸化膜の応力を吸収できるので、該第2のシリコン酸化膜にクラックを生じることなく、アニール処理を行うことができる。

【0028】さらに、前記工程(c)のアニール処理に続き、工程(d)で、化学気相成長法、好ましくはプラズマ化学気相成長法によってシリコン窒化膜を形成する。このシリコン窒化膜は、耐湿性および耐汚染性を考慮すると、好ましくは300~1500nmの膜厚を有する。

【0029】本発明に係る製造方法においては、第1のシリコン酸化膜および第2のシリコン酸化膜によって十分に平坦化が図られる。その結果、最上層のシリコン窒化膜は付きまわりが良く、局所的に膜厚が薄い部分や欠陥が少なく、耐湿性並びに耐汚染性が高く保護膜としての信頼性の向上を図ることができる。

【0030】以上の製造方法によって形成された半導体装置は、素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成された複数の配線領域および該配線領域のうちの最上層に位置する配線領域の上に形成された保護絶縁膜を含み、前記保護絶縁膜は、第1のシリコン酸化膜、前記第1のシリコン酸化膜の上に形成され、シリコン化合物

と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第2のシリコン酸化膜、および最上層を構成するシリコン窒化膜、を含む。

【0031】この半導体装置によれば、上述したように、保護絶縁膜として高い信頼性を有するだけでなく、最上層の金属配線層において隣接する配線層の相互間のスペースには誘電率の低いシリコン酸化膜が充填されるため、誘電率の高いシリコン窒化膜の影響が小さく、従来の構造に比べて動作速度を向上することができる。

【0032】本発明においては、前記工程(b)と同様な工程で形成される、シリコン化合物と過酸化水素とを化学気相成長法によって反応させて得られるシリコン酸化膜は、MOS素子などの素子を含む半導体基板の上に形成される層間絶縁膜、ならびに金属配線層の相互間の層間絶縁膜の平坦化層にも適用することが望ましい。

【0033】

【発明の実施の形態】図1～図5は、本発明に係る半導体装置の製造方法および半導体装置の一実施の形態を説明するための概略断面図である。図1(A)～(C)および図2(A)、(B)は第1層の配線領域L1を、図3(A)、(B)および図4(A)、(B)は第2層の配線領域L2を、図5は多層構造の保護絶縁膜を製造するための工程を示す。

【0034】以下に、半導体装置の製造方法の一例を示す。

【0035】(A)図1(A)に示す工程について説明する。

【0036】(素子の形成)まず、一般的に用いられる方法によって、シリコン基板11にMOS素子が形成される。具体的には、例えば、シリコン基板11上に選択酸化によってフィールド絶縁膜12が形成され、アクティブ領域にゲート酸化膜13が形成される。チャネル注入により、しきい値電圧を調整した後、 SiH_4 を熱分解して成長させたポリシリコン膜の上にタングステンシリサイドをスパッタし、さらにシリコン酸化膜18を積層し、さらに所定パターンにエッチングすることにより、ゲート電極14が形成される。このとき、必要に応じて、フィールド絶縁膜12上にポリシリコン膜およびタングステンシリサイド膜からなる配線層37が形成される。

【0037】次いで、リンをイオン注入することによりソース領域あるいはドレイン領域の低濃度不純物層15が形成される。次いで、ゲート電極14のサイドにシリコン酸化膜からなる側壁スペーサ17が形成された後、ヒ素をイオン注入し、ハロゲンランプを用いたアニール処理によって不純物の活性化を行うことにより、ソース領域あるいはドレイン領域の高濃度不純物層16が形成される。

【0038】次に、100nm以下の気相成長シリコン酸化膜を形成し、該膜をHFと NH_4F の混合水溶液で

選択的にエッチングすることにより、所定のシリコン基板領域を露出させる。続いて、例えばチタンを30～100nm程度の膜厚でスパッタし、酸素を50ppm以下に制御した窒素雰囲気中において650～750℃の温度で数秒～60秒程度の瞬間アニールを行うことにより、開口したシリコン基板表面にチタンのモノシリサイド層が、シリコン酸化膜18上にはチタンリッチのチタンナイトライド(TiN)層が形成される。次いで、 NH_4OH と H_2O_2 の混合水溶液中に浸漬すると、前記チタンナイトライド層はエッチング除去されてシリコン基板表面のみにチタンのモノシリサイド層が残る。さらに、750～850℃のランプアニールを行って、前記モノシリサイド層をダイシリサイド化させて、高濃度不純物層16の表面に自己整合的にチタンシリサイド層19が形成される。

【0039】なお、ゲート電極14をポリシリコンのみで形成して選択エッチングで露出させた場合には、ゲート電極とソース、ドレイン領域の両者が側壁スペーサで分離されたチタンシリサイド構造になる。

【0040】なお、シリサイド構造は、チタンシリサイドの代わりに、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイドから構成されていてもよい。

【0041】(B)次に、図1(B)に示す工程について説明する。

【0042】(第1の層間絶縁膜I1の形成)第1の層間絶縁膜I1は、4層のシリコン酸化膜、つまり、下から順に、第1のシリコン酸化膜20、第2のシリコン酸化膜22、第3のシリコン酸化膜24および第4のシリコン酸化膜26から構成されている。

【0043】a. 第1のシリコン酸化膜20の形成
まず、テトラエトキシラン(TEOS)と酸素とを300～500℃でプラズマ化学気相成長(CVD)法で反応させることにより、膜厚100～200nmの第1のシリコン酸化膜20が形成される。このシリコン酸化膜20は、シリサイド層19の酸化やカスピングもなく、 SiH_4 から成長させた膜より絶縁性も高くフッ化水素の水溶液に対するエッチング速度も遅く、緻密な膜となる。

【0044】ここでは、チタンシリサイド層19上に直接シリコン酸化膜20を形成させるが、このときの成膜温度が高いと成膜初期に酸化性ガスとチタンシリサイドとが簡単に反応してクラックや剥離を生じ易いため、処理温度は好ましくは600℃以下、より好ましくは250～400℃で行うことが望ましい。そして、シリコン酸化膜がチタンシリサイド層19上に100nm程度の膜厚で前述した比較的低温で形成された後は、水蒸気以外の酸化雰囲気さらされるアニールや気相酸化処理であれば、温度を900℃位まで上げて問題とならない。

【0045】b. 第2のシリコン酸化膜22の形成

次に、好ましくは 2.5×10^2 Pa以下、より好ましくは $0.3 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^1$ Paの減圧下において、窒素ガスをキャリアとして、 SiH_4 および H_2O_2 をCVD法により反応させることにより、第2のシリコン酸化膜22を形成する。第2のシリコン酸化膜22は、少なくとも、下層の第1のシリコン酸化膜20の段差より大きい膜厚を有し、つまり該段差を十分にカバーする膜厚で成膜される。また、第2のシリコン酸化膜22の膜厚の上限は、該膜中にクラックが生じない程度に設定される。具体的には、第2のシリコン酸化膜22の膜厚は、より良好な平坦性を得るために、下層の段差より厚いことが望ましく、好ましくは $300 \sim 1000$ nmに設定される。

【0046】第2のシリコン酸化膜22の成膜温度は、該膜の成膜時の流動性に関与し、成膜温度が高いと膜の流動性が低下して平坦性を損なうので、成膜時の温度は好ましくは $0 \sim 20^\circ\text{C}$ 、より好ましくは $0 \sim 10^\circ\text{C}$ に設定される。

【0047】また、 H_2O_2 の流量は特に制限されないが、 SiH_4 の2倍以上の流量であることが好ましく、膜の均一性並びにスループットの点から、ガス換算で例えば $100 \sim 1000$ SCCMの流量範囲に設定されることが望ましい。

【0048】この工程で形成される第2のシリコン酸化膜22は、シラノールポリマーの状態にあり、流動性がよく、高い自己平坦化特性を有する。また、第2のシリコン酸化膜22は、多くの水酸基($-\text{OH}$)を含むために吸湿性も高い状態にある。

【0049】c. 第3のシリコン酸化膜24の形成
次に、 SiH_4 、 PH_3 および N_2O の存在下において、温度 $300 \sim 450^\circ\text{C}$ で $200 \sim 600$ kHzの高周波数でプラズマCVD法によってガスを反応させることにより、膜厚 $100 \sim 600$ nmのPSG膜(第3のシリコン酸化膜)24が形成される。この第3のシリコン酸化膜24は、前記第2のシリコン酸化膜22の吸湿性が高いことを考慮して、前記第2のシリコン酸化膜22の形成に続いて連続的に形成されるか、あるいは第2のシリコン酸化膜22が水分を含まない雰囲気中で保存された後に形成されることが望ましい。

【0050】また、第3のシリコン酸化膜24は、後に行われるアニール処理によって前記第2のシリコン酸化膜22中に含まれる水、水素などのガス化成分の脱離が容易かつ十分に行われることを考慮して、ポーラス(多孔性)であることが必要である。そのためには、第3のシリコン酸化膜24は、例えば温度が好ましくは 450°C 以下、より好ましくは $300 \sim 400^\circ\text{C}$ 、好ましくは 1 MHz以下、より好ましくは $200 \sim 600$ kHzのプラズマCVD法によって成膜され、かつリンなどの不純物を含むことが望ましい。第3のシリコン酸化膜24にこのような不純物が含まれることにより、第3のシリ

コン酸化膜24は、よりポーラスな状態となって膜に対するストレスを緩和できるだけでなく、アルカリイオン等に対するゲッタリング効果も持ち合わせることができ。このような不純物の濃度は、ゲッタリング効果などの点を考慮して設定される。例えば、不純物がリンの場合には、 $2 \sim 6$ 重量%の割合で含まれることが望ましい。

【0051】また、プラズマCVDにおいて、酸素を含む化合物として N_2O を用いることにより、第2のシリコン酸化膜22中の水素ボンドの脱離が促進される。その結果、第2のシリコン酸化膜22に含まれる水分および水素などのガス化成分をより確実に除去することができる。

【0052】この第3のシリコン酸化膜24の膜厚は、必要とされる層間絶縁膜の厚みを調整する役割と、 N_2O プラズマが水素ボンドを脱離する機能を考慮して、好ましくは 100 nm以上、より好ましくは $100 \sim 600$ nmに設定される。

【0053】d. アニール処理

次に、窒素雰囲気中で、温度 $600 \sim 850^\circ\text{C}$ でアニール処理を行う。このアニール処理によって、前記第2のシリコン酸化膜22および第3のシリコン酸化膜24は緻密化され、良好な絶縁性並びに耐水性を有する。すなわち、アニール温度を 600°C 以上に設定することにより、第2のシリコン酸化膜22でのシラノールの縮重合反応がほぼ完全に行われ、該膜中に含まれる水および水素が十分に放出されて緻密な膜を形成することができる。また、アニール温度を 850°C 以下に設定することにより、MOSトランジスタを構成するソース領域あるいはドレイン領域の拡散層にパンチスルーや接合リークなどの悪影響を与えることがなく、素子の微細化を達成することができる。

【0054】アニール処理においては、第2のシリコン酸化膜22に対する熱ひずみの影響を小さくするために、段階的にもしくは連続的にウエハの温度を上げる、ランピングアニールを行うことが望ましい。例えば、ウエハを約 400°C で保温した後、アニール温度($600 \sim 850^\circ\text{C}$)に昇温する場合、第3のシリコン酸化膜24の不純物濃度をかなり低くすることができる。例えば、不純物がリンの場合、可動性イオンのゲッタリング効果を別にして、リンの濃度が2重量%以下でも、第2のシリコン酸化膜22にクラックが生じないことを確認している。

【0055】e. 第4のシリコン酸化膜26の形成
次に、TEOSと酸素とを用い、 $350 \sim 400^\circ\text{C}$ でプラズマCVD法により膜厚 $1000 \sim 1500$ nmの第4のシリコン酸化膜26を形成する。

【0056】プラズマCVD法を用いたTEOS-酸素のシリコン酸化膜は、アニールを行わない場合でも、高温アニールした前記第2のシリコン酸化膜22および第

3のシリコン酸化膜24と同程度かあるいは少し速いドライエッチング速度を有している。このことは、後述するコンタクトホール形成においてホール側面にくびれや段差を生ずることなく、良好な形状のコンタクトホールを得る要因となる。

【0057】(C)次に、図1(C)に示す工程について説明する。

【0058】(CMPによる平滑化)次いで、前記第4のシリコン酸化膜26、および必要に応じて前記第3のシリコン酸化膜24および第2のシリコン酸化膜22

を、化学機械的研磨(CMP)法によって所定の膜厚を

第2のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 250nm/分

第3のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 250nm/分

第4のシリコン酸化膜(アニールなし) ; 250nm/分

比較のためのBPSG膜(アニール温度900℃) ; 350nm/分

(D)次に、図2(A)に示す工程について説明する

(コンタクトホールの形成)次いで、 CHF_3 と CF_4 とを主ガスとした反応性イオンエッチャーで第1の層間絶縁膜I1を構成するシリコン酸化膜20、22、24および26を選択的に異方性エッチングすることにより、

【0061】このコンタクトホール32は、上端部から底部に向かって直線的に口径が小さくなるテーパ状を成す。テーパの角度 θ は、エッチング条件などによって一概には規定できないが、たとえば、5~15度の傾斜を有する。このようなテーパ状のスルーホールが得られる理由としては、第1に、シリコン酸化膜20、2

第2のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 525nm/分

第3のシリコン酸化膜(アニール温度800℃) ; 550nm/分

第4のシリコン酸化膜(アニールなし) ; 565nm/分

比較のためのBPSG膜(アニール温度900℃) ; 750nm/分

(E)次に、図2(B)に示す工程について説明する。

【0064】(脱ガス処理)まず、脱ガス工程を含む熱処理について説明する。

【0065】ランプチャンバで、 1.5×10^{-4} Pa以下のベース圧力、150~250℃の温度で30~60秒間のランプ加熱(熱処理A)を施す。次いで、別のチャンバで 1×10^{-4} ~ 1.5×10^{-4} Paの圧力でアルゴンガスを導入し、150~550℃の温度で、30~1

【0066】この工程においては、まず、熱処理Aにおいて、主として、ウエハの裏面および側面を含むウエハ全体を加熱処理することにより、ウエハに付着している水分などを除去できる。

【0067】さらに、熱処理Bにおいて、主として、第1の層間絶縁膜I1を構成する第2のシリコン酸化膜22中のガス化成分(H 、 H_2O)を除去することができる。その結果、次工程のバリア層およびアルミニウム膜

研磨し、平滑化する。そして、前記第2のシリコン酸化膜22、第3のシリコン酸化膜24および第4のシリコン酸化膜26は、研磨速度がほとんど同じことから、研磨によって第3のシリコン酸化膜24あるいは第2のシリコン酸化膜22の一部が表面に露出したとしても、平坦な表面を得ることができ、したがって研磨量の管理が容易である。

【0059】例えば、本発明者らの研究によれば、各シリコン酸化膜の研磨速度は以下の様であった。

【0060】

2、24および26は、基本的にはほぼ同じエッチング

速度を有し、さらに第2のシリコン酸化膜22は第3のシリコン酸化膜24に比べてエッチング速度がわずかに小さいこと、第2に、各シリコン酸化膜の界面が極めて良好に密着していることにある。このようなテーパ状のコンタクトホール32内では、後述するように、アルミニウム膜の良好な堆積が可能である。

【0062】以下に、本願発明者らが測定した各シリコン酸化膜のドライエッチング速度を記載する。なお、ドライエッチングは、パワー; 800W、気圧; 20 Pa、エッチャントガス; CF_4 : CHF_3 : He = 1: 2: 9の条件で行った。

【0063】

の形成時に、第1の層間絶縁膜I1からのガス化成分の発生が防止できる。

【0068】本実施の形態においては、バリア層33は、バリア機能を有するバリア膜と、導電膜とからなる多層膜によって構成される。導電膜は、バリア膜とシリコン基板に形成された不純物拡散層、つまりソース領域あるいはドレイン領域との導電性を高めるために、バリア膜と不純物拡散層との間に形成される。バリア膜としては、一般的な物質、例えばチタンナイトライドやチタンタングステンを好ましく用いることができる。また、導電膜としては、チタン、コバルト、タングステンなどの高融点金属を用いることができる。これらのチタン、コバルト、タングステンは基板を構成するシリコンと反応してシリサイドとなる。

【0069】バリア層、例えばTiN膜/Ti膜は数十原子%のガス化成分(O、H、 H_2O 、N)を固溶することから、これらの膜を形成する前に、第1の層間絶縁膜I1中のガス化成分を除去することが、コンタクトホ

ール内でのアルミニウム膜の成膜を良好に行う上で、極めて有効である。バリア層の下位の第1の層間絶縁膜11中のガス化成分を十分に除去しておかないと、バリア層の形成時の温度(通常、300℃以上)で、第1の層間絶縁膜11中のガス化成分が放出され、このガスがバリア層中に取り込まれる。さらに、このガスがアルミニウム膜の成膜時にバリア層から離脱してバリア層とアルミニウム膜との界面に出てくるため、アルミニウム膜の密着性や流動性に悪影響を与える。

【0070】(バリア層の成膜)スパッタ法により、バリア層33を構成する導電膜として、チタン膜を20~70nmの膜厚で形成し、次いで、別のチャンバで、バリア膜としてTiN膜を30~150nmの膜厚で形成する。スパッタの温度は、膜厚に応じて、200~450℃の範囲で選択される。

【0071】次に、 $0.1 \times 10^2 \sim 1.5 \times 10^2$ Paの圧力で酸素プラズマ中に10~100秒間さらし、450~700℃の窒素または水素雰囲気中で10~60分間にわたってアニール処理することにより、バリア層中に酸化チタンを島状に形成することができる。この処理によりバリア層のバリア性を向上させることができることを確認している。

【0072】また、このアニール処理は、少なくとも数百ppm~数%の酸素を含むランプアニール炉における400~800℃の熱処理によっても行うことができ、同様にバリア層のバリア性を向上させることができる。

【0073】なお、図示はしないが、バリア層33の表面に、後述するアルミニウム膜に対する濡れ性を向上させる目的で、チタン、コバルト、シリコンなどで構成されるウェットング層を形成してもよい。このようなウェットング層を設けることにより、第1のアルミニウム膜の流動性を上げることができる。ウェットング層の膜厚は、通常数十nm以上あればよい。

【0074】(アルミニウム膜の成膜前の脱ガス処理およびウエハの冷却)まず、ウエハの冷却を行う前に、ランプチャンバ内において、 1.5×10^{-4} Pa以下のベース圧力、150~250℃の温度で30~60秒間の熱処理(熱処理C)を行い、基板に付着した水などの物質を除去する。その後、アルミニウム膜を成膜する前に、基板温度を100℃以下、好ましくは常温~50℃の温度に下げる。この冷却工程は、上記熱処理Cにより上昇した基板温度を下げるために重要なもので、例えば水冷機能を有するステージ上にウエハを載置して該ウエハ温度を所定温度まで下げる。

【0075】このようにウエハの冷却を行うことにより、第1のアルミニウム膜を成膜する際に、第1の層間絶縁膜11およびバリア層33、さらにウエハ全面から放出されるガス量を極力少なくすることができる。その結果、バリア層33と第1のアルミニウム膜34との界面に吸着する、カバレッジ性や密着性に有害なガスの影

響を防ぐことができる。

【0076】(アルミニウム膜の成膜)まず、200℃以下、より好ましくは30~100℃の温度で、0.2~1.0重量%の銅を含むアルミニウムを膜厚150~300nmでスパッタによって高速度で成膜し、第1のアルミニウム膜34が形成される。続いて、同一チャンバ内で基板温度420~460℃に加熱して、同様に銅を含むアルミニウムをスパッタにより低速度で成膜し、膜厚300~600nmの第2のアルミニウム膜35が形成される。ここで、アルミニウム膜の成膜において、「高速度」とは、成膜条件や製造されるデバイスの設計事項によって一概に規定できないが、おおよそ10nm/秒以上のスパッタ速度を意味し、「低速度」とは、おおよそ3nm/秒以下のスパッタ速度を意味する。

【0077】図6に、第1および第2のアルミニウム膜34、35を成膜するためのスパッタ装置の一例を示

す。このスパッタ装置は、チャンバ50内に、電極をかねるターゲット51およびステージをかねる電極52を有し、電極52上には処理される基板(ウエハ)Wが設置されるように構成されている。チャンバ50には、第1のガス供給路53が接続され、電極52には、第2のガス供給路54が接続されている。ガス供給路53、54からは、いずれもアルゴンガスが供給される。そして、第2のガス供給路54から供給されるガスによって、ウエハWの温度が制御される。なお、チャンバ50内のガスを排出するための手段は図示しない。

【0078】このようなスパッタ装置を用いて基板温度をコントロールした一例を図7に示す。図7において、横軸は経過時間を示し、縦軸は基板(ウエハ)温度を示す。また、図7において、符号aで示すラインはスパッタ装置のステージ52の温度を350℃に設定したときの基板温度変化を示し、符号bで示すラインは第2のガス供給路54を通して高温のアルゴンガスをチャンバ内に供給することによってステージ52の温度を高めていったときの基板温度の変化を示している。

【0079】例えば、基板の温度制御は以下のように行われる。まず、ステージ52の温度は、予め、第2のアルミニウム膜を形成するための温度(350~500℃)に設定されている。第1のアルミニウム膜を形成する際には、第2のガス供給路54からのガスの供給はなく、基板温度はステージ52による加熱によって、図7の符号aで示すように徐々に上昇する。第2のアルミニウム膜を形成する際には、第2のガス供給路54を介して加熱されたガスが供給されることによって図7の符号bで示すように、基板温度は急激に上昇し、所定の温度で一定になるように制御される。

【0080】図7に示す例では、ステージ温度が350℃に設定され、そして、基板温度が125~150℃に設定されている間に第1のアルミニウム膜34が成膜され、その後すぐに第2のアルミニウム膜35の成膜が行

われる。

【0081】アルミニウム膜の成膜においては、成膜速度および基板温度制御とともに、スパッタ装置に印加されるパワーの制御も重要である。つまり、成膜速度とも関連するが、第1のアルミニウム膜34の成膜は高いパワーで行われ、第2のアルミニウム膜35は低いパワーで行われ、さらに高いパワーから低いパワーに切り換える際にパワーをゼロにしないことが重要である。パワーをゼロにすると、減圧下においても第1のアルミニウム膜の表面に酸化膜が形成され、第1のアルミニウム膜に対する第2のアルミニウム膜の濡れ性が低下し、両者の密着性が悪くなる。言い換えれば、パワーを常に印加することにより、成膜中のアルミニウム膜の表面に活性なアルミニウムを供給し続けることができ、酸化膜の形成を抑制できる。なお、パワーの大きさは、スパッタ装置や成膜条件などに依存し一概に規定できないが、例えば図7に示す温度条件の場合、高パワーが5~10kW、低パワーが300W~1kWに設定されることが望ましい。

【0082】このように、同一チャンバ内で第1のアルミニウム膜34および第2のアルミニウム膜35を連続的に成膜することにより、温度およびパワーの制御を厳密に行うことができ、従来よりも低温でかつ安定したアルミニウム膜を効率よく形成することが可能となる。

【0083】前記第1のアルミニウム膜34の膜厚は、良好なステップカバレッジで連続層を形成することができること、並びに該アルミニウム膜34より下層のバリア層33および第1の層間絶縁膜11からのガス化成分の放出を抑制できることなどを考慮して、適正な範囲が選択されるが、例えば200~400nmが望ましい。また、第2のアルミニウム膜35は、コンタクトホール

の大きさ並びにそのアスペクト比などによって決定されるが、例えばアスペクト比が3程度で0.5μm以下のホールを埋めるためには、300~1000nmの膜厚が必要である。

【0084】(反射防止膜の成膜)さらに、別のスパッタチャンバで、スパッタによりTiNを堆積することにより、膜厚30~80nmの反射防止膜36が形成される。その後、Cl₂とBCl₃のガスを主体とする異方性ドライエッチャーで前記バリア層33、第1のアルミニウム膜34、第2のアルミニウム膜35および反射防止膜36からなる堆積層を選択的にエッチングして、第1の金属配線層30のパターニングを行う。

【0085】このようにして形成された金属配線層30では、アスペクト比が0.5~3で、口径が0.2~0.8μmのコンタクトホール内において、ボイドを発生させることなく良好なステップカバレッジでアルミニウムが埋め込まれることが確認された。

【0086】(F)次に、図3(A)に示す工程について説明する。

【0087】(第2の層間絶縁膜12の形成)第2の層間絶縁膜12は、基本的には前記第1の層間絶縁膜11と同様の構成を有する。すなわち、第2の層間絶縁膜12は、4層のシリコン酸化膜、つまり、下から順に、第1のシリコン酸化膜70、第2のシリコン酸化膜72、第3のシリコン酸化膜74および第4のシリコン酸化膜76から構成されている。そして、これらのシリコン酸化膜70、72、74および76は、アニール処理以外は、前記シリコン酸化膜20、22、24および26と同様な方法で成膜される。以下に主要な部分を説明するが、共通する事項については記載を省略する。

【0088】a. 第1のシリコン酸化膜70の形成
まず、テトラエトキシラン(TEOS)と酸素とを300~500℃でプラズマ化学気相成長(CVD)法で反応させることにより、膜厚50~200nmの第1のシリコン酸化膜70が形成される。

【0089】b. 第2のシリコン酸化膜72の形成
次に、好ましくは 2.5×10^2 Pa以下、より好ましくは $0.3 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^1$ Paの減圧下において、窒素ガスをキャリアとして、SiH₄およびH₂O₂を0~10℃の温度でCVD法により反応させることにより、第2のシリコン酸化膜72を形成する。第2のシリコン酸化膜72は、前記第2のシリコン酸化膜22と同様に、少なくとも、下層の第1のシリコン酸化膜70の段差より大きい膜厚を有し、つまり該段差を十分にカバーする膜厚で成膜される。また、第2のシリコン酸化膜72の膜厚の上限は、該膜中にクラックが生じない程度に設定される。具体的には、第2のシリコン酸化膜72の膜厚は、より良好な平坦性を得るために、下層の段差より厚いことが望ましく、好ましくは500~1000nmに設定される。

【0090】第2のシリコン酸化膜72の成膜温度は、好ましくは0~20℃、より好ましくは0~10℃に設定される。

【0091】この工程で形成される第2のシリコン酸化膜72は、高い流動性を有し、平坦化特性に優れる。

【0092】c. 第3のシリコン酸化膜74の形成
次に、SiH₄、PH₃およびN₂Oの存在下において、温度300~450℃で200~600kHzの高周波数でプラズマCVD法によって反応させることにより、膜厚100~600nmのPSG膜(第3のシリコン酸化膜)74が形成される。

【0093】また、第3のシリコン酸化膜74は、前記第3のシリコン酸化膜24と同様に、後に行われるアニール処理によって前記第2のシリコン酸化膜72中に含まれる水などのガス化成分の脱離が容易かつ十分に行われることを考慮して、ポーラス(多孔性)であることが必要である。そのためには、第3のシリコン酸化膜74は、例えば温度が好ましくは450℃以下、より好ましくは300~400℃、好ましくは1MHz以下、より

好ましくは200~600kHzの高周波プラズマCVD法によって成膜され、リンなどの不純物が含まれることが望ましい。第3のシリコン酸化膜74にこのような不純物が含まれることにより、第3のシリコン酸化膜74は、よりポーラスな状態となって膜に対するストレスを緩和できる。このような不純物の濃度は、耐ストレス性、ゲッターリング効果などの点を考慮して設定される。例えば、不純物がリンの場合には、1~6重量%の割合で含まれることが望ましい。

【0094】また、プラズマCVDにおいて、酸素を含む化合物として N_2O を用いることにより、第2のシリコン酸化膜72中の水素ボンドの脱離が促進される。その結果、第2のシリコン酸化膜72に含まれる水分などのガス化成分をより確実に除去することができる。

【0095】この第3のシリコン酸化膜74の膜厚は、好ましくは100nm以上、より好ましくは200~600nmに設定される。

【0096】d. アニール処理

次に、温度350~500℃でアニール処理を行う。このアニール処理によって、前記第2のシリコン酸化膜72および第3のシリコン酸化膜74は緻密化され、良好な絶縁性並びに耐水性を有する。すなわち、アニール温度を350℃以上に設定することにより、第2のシリコン酸化膜72でのシラノールの縮重合反応がほぼ完全に行われ、該膜中に含まれる水分が十分に放出されて緻密な膜を形成することができる。また、アニール温度を500℃以下に設定することにより、第1の配線層40を構成するアルミニウム膜に悪影響を与えることがない。

【0097】e. 第4のシリコン酸化膜76の形成
次に、TEOSと酸素とを用い、350~400℃でプラズマCVD法により膜厚1000~1500nmの第4のシリコン酸化膜76を形成する。

【0098】(G) 次に、図3(B)に示す工程について説明する。

【0099】(CMPによる平滑化) 前記第4のシリコン酸化膜76、および必要に応じて前記第3のシリコン酸化膜74および第2のシリコン酸化膜72を、CMP法によって所定の膜厚で研磨し、平滑化する。この平滑化処理により、研磨によって第3のシリコン酸化膜74あるいは第2のシリコン酸化膜72の一部が表面に露出したとしても、平坦な表面を得ることができ、したがって研磨量の管理が容易である。

【0100】(H) 次に、図4(A)に示す工程について説明する。

【0101】(ビアホール形成) CHF_3 と CF_4 とを主ガスとした反応性イオンエッチャーで第2の層間絶縁膜I2および反射防止膜36を選択的に異方性エッチングすることにより、口径が0.3~0.5 μm のビアホール62が形成される。

【0102】このビアホール62は、前記コンタクトホ

ール32と同様に、上端部から底部に向かって徐々に口径が小さくなるテーパ状を成す。テーパの角度 θ は、エッチング条件などによって一概には規定できないが、たとえば、5~15度の傾斜を有する。

【0103】(I) 次に、図4(B)に示す工程について説明する。

【0104】(脱ガス処理) まず、脱ガス工程を含む熱処理について説明する。

【0105】ランプチャンバで、 1.5×10^{-4} Pa以下のベース圧力、150~250℃の温度で30~60秒間のランプ加熱(熱処理D)を施す。次いで、別のチャンバで 1×10^{-4} ~ 1.5×10^{-4} Paの圧力でアルゴンガスを導入し、300~500℃の温度で、30~120秒間の熱処理(脱ガス工程; 熱処理E)を行うことによって、脱ガス処理を行う。

【0106】この工程においては、まず、熱処理Dにおいて、主として、ウエハの裏面および側面を含むウエハ全体を加熱処理することにより、ウエハに付着している水分などを除去できる。

【0107】さらに、熱処理Eにおいて、主として、第2の層間絶縁膜I2中のガス化成分(H , H_2O)を除去することができる。その結果、次工程のウェットング層およびアルミニウム膜の形成時に、第2の層間絶縁膜I2からのガス化成分の発生が防止できる。

【0108】本実施の形態においては、ウェットング層、例えばTi膜は数十原子%のガス化成分(O , H , H_2O , N)を固溶することから、この膜を形成する前に、第2の層間絶縁膜I2中のガス化成分を除去することが、ビアホール内でのアルミニウム膜の成膜を良好に行う上で、極めて有効である。ウェットング層の下位の第2の層間絶縁膜I2中のガス化成分を十分に除去しておかないと、ウェットング層の形成時に、第2の層間絶縁膜I2中のガス化成分が放出され、このガスがウェットング層中に取り込まれる。さらに、このガスがアルミニウム膜の成膜時にウェットング層から離脱してウェットング層とアルミニウム膜との界面に出てくるため、アルミニウム膜の密着性や流動性に悪影響を与える。

【0109】(ウェットング層の成膜) スパッタ法により、ウェットング層63を構成する膜として、チタン膜を20~70nmの膜厚で形成する。スパッタの温度は、好ましくは100℃以下、より好ましくは25℃以下である。

【0110】(アルミニウム膜の成膜前のウエハの冷却) アルミニウム膜を成膜する前に、基板温度を100℃以下、好ましくは常温~50℃の温度に下げる。この冷却工程は、ウェットング層63のスパッタにより上昇した基板温度を下げるために重要なもので、例えば水冷機能を有するステージ上にウエハを載置して該ウエハ温度を所定温度まで下げる。

【0111】このようにウエハの冷却を行うことによ

り、第1のアルミニウム膜を成膜する際に、第2の層間絶縁膜12およびウェッティング層63、さらにウエハ全面から放出されるガス量を極力少なくすることができる。その結果、ウェッティング層63と第1のアルミニウム膜64との界面に吸着する、カバレッジ性や密着性に有害なガスの影響を防ぐことができる。

【0112】(アルミニウム膜の成膜)まず、200℃以下、より好ましくは30~100℃の温度で、0.2~1.0重量%の銅を含むアルミニウムを膜厚150~300nmでスパッタによって高速度で成膜し、第1のアルミニウム膜64が形成される。続いて、同一チャンバ内で基板温度420~460℃に加熱して、同様に銅を含むアルミニウムをスパッタにより低速度で成膜し、膜厚300~600nmの第2のアルミニウム膜65が形成される。

【0113】スパッタ装置としては、図6に示す装置と同様のものを使用することができる。前記スパッタ装置の構成、ウエハの温度制御およびスパッタ時のパワーについては、第1の金属配線層30の場合と同様なので、詳細な説明を省略する。

【0114】同一チャンバ内で第1のアルミニウム膜64および第2のアルミニウム膜65を連続的に成膜することにより、温度およびパワーの制御を厳密に行うことができ、従来よりも低温でかつ安定したアルミニウム膜を効率よく形成することが可能となる。

【0115】前記第1のアルミニウム膜64の膜厚は、良好なステップカバレッジで連続層を形成することができること、並びに該アルミニウム膜64より下層のウェッティング層63および第2の層間絶縁膜12からのガス化成分の放出を抑制できることなどを考慮して、適正な範囲が選択されるが、例えば100~300nmが望ましい。また、第2のアルミニウム膜65は、ビアホール62の大きさ並びにそのアスペクト比などによって決定されるが、例えばアスペクト比が3程度で0.5μm以下のホールを埋めるためには、300~800nmの膜厚が必要である。

【0116】(反射防止膜の成膜)さらに、別のスパッタチャンバで、スパッタによりTiNを堆積することにより、膜厚30~80nmの反射防止膜66が形成される。その後、Cl₂とBCl₃のガスを主体とする異方性ドライエッチャーで前記ウェッティング層63、第1のアルミニウム膜64、第2のアルミニウム膜65および反射防止膜66からなる堆積層を選択的にエッチングして、第2の金属配線層60のパターニングを行う。

【0117】このようにして形成された金属配線層60では、アスペクト比が0.5~3で、口径が0.2~0.8μmのビアホール内において、ボイドを発生させることなく良好なステップカバレッジでアルミニウムが埋め込まれることが確認された。

【0118】以後、必要に応じて、第2の配線領域L2

と同様にして第3、第4…の多層配線領域を形成することができる。

【0119】(J)次に、図5に示す工程について説明する。

【0120】(保護絶縁膜PLの形成)保護絶縁膜PLは、3層のシリコン酸化膜、つまり、下から順に、第1のシリコン酸化膜80、第2のシリコン酸化膜82および第3のシリコン酸化膜84と、シリコン窒化膜86とから構成されている。そして、これらのシリコン酸化膜80、82および84は、アニール処理以外は、前記シリコン酸化膜20、22および24と同様な方法で成膜される。以下に主要な部分を説明するが、共通する事項については記載を省略する。また、第3のシリコン酸化膜84は、リンを含まないシリコン酸化膜でもよい。

【0121】a. 第1のシリコン酸化膜80の形成
まず、テトラエトキシラン(TEOS)と酸素とを30

0~500℃でプラズマ化学気相成長(CVD)法で反応させることにより、膜厚50~500nmの第1のシリコン酸化膜80が形成される。

【0122】b. 第2のシリコン酸化膜82の形成
次に、好ましくは 2.5×10^1 Pa以下、より好ましくは $0.3 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^2$ Paの減圧下において、窒素ガスをキャリアとして、SiH₄およびH₂O₂を0~10℃の温度でCVD法により反応させることにより、第2のシリコン酸化膜82を形成する。第2のシリコン酸化膜82は、前記第2のシリコン酸化膜22と同様に、少なくとも、下層の第1のシリコン酸化膜80の段差より大きい膜厚を有し、つまり該段差を十分にカバーする膜厚で成膜される。また、第2のシリコン酸化膜82の膜厚の上限は、該膜中にクラックが生じない程度に設定される。具体的には、第2のシリコン酸化膜82の膜厚は、より良好な平坦性を得るために、下層の段差より厚いことが望ましく、好ましくは500~1000nmに設定される。

【0123】第2のシリコン酸化膜82の成膜温度は、好ましくは0~20℃、より好ましくは0~10℃に設定される。

【0124】この工程で形成される第2のシリコン酸化膜82は、高い流動性を有し、平坦化特性に優れる。

【0125】c. 第3のシリコン酸化膜84の形成
次に、SiH₄、N₂Oの存在下において、温度300~450℃で200~600kHzの高周波数でプラズマCVD法によって反応させることにより、第3のシリコン酸化膜84が形成される。

【0126】また、第3のシリコン酸化膜84は、前記第3のシリコン酸化膜24と同様に、後に行われるアニール処理によって前記第2のシリコン酸化膜82中に含まれる水などのガス化成分の脱離が容易かつ十分に行われることを考慮して、ポーラス(多孔性)であることが必要である。そのためには、第3のシリコン酸化膜84

は、例えば温度が好ましくは450℃以下、より好ましくは300~400℃、好ましくは1MHz以下、より好ましくは200~600kHzの高周波プラズマCVD法によって成膜され、 PH_3 ガス等の導入によりリンなどの不純物が含まれるPSG膜であることが望ましい。第3のシリコン酸化膜84にこのような不純物が含まれることにより、第3のシリコン酸化膜84は、よりポーラスな状態となって膜に対するストレスを緩和できる。このような不純物の濃度は、耐ストレス性、ゲッタリング効果などの点を考慮して設定される。例えば、不純物がリンの場合には、1~6重量%の割合で含まれることが望ましい。

【0127】また、プラズマCVDにおいて、酸素を含む化合物として N_2O を用いることにより、第2のシリコン酸化膜82中の水素ボンドの脱離が促進される。その結果、第2のシリコン酸化膜82に含まれる水分などのガス化成分をより確実に除去することができる。

【0128】この第3のシリコン酸化膜84の膜厚は、好ましくは100nm以上、より好ましくは200~600nmに設定される。

【0129】d. アニール処理

次に、温度350~500℃でアニール処理を行う。このアニール処理によって、前記第2のシリコン酸化膜82および第3のシリコン酸化膜84は緻密化され、良好な絶縁性並びに耐水性を有する。すなわち、アニール温度を350℃以上に設定することにより、第2のシリコン酸化膜82でのシラノールの縮重合反応がほぼ完全に行われ、該膜中に含まれる水分が十分に放出されて緻密な膜を形成することができる。また、アニール温度を500℃以下に設定することにより、第2の配線層60を構成するアルミニウム膜に悪影響を与えることがない。

【0130】e. シリコン窒化膜86の形成

次に、窒素ガスをキャリアとして、 SiH_4 および NH_3 を、温度300~450℃でプラズマCVD法により反応させることにより、最上層のシリコン窒化膜86を形成する。このシリコン窒化膜86は、十分なバッシベーション機能を考慮して、例えば300~1500nmの膜厚を有する。

【0131】その後、図示しないフォトリソストをマスクに、前記保護絶縁膜PLをドライエッチングあるいはウェットエッチングで選択的にエッチングし、外部電極取り出し用のボンディングパッド部を構成するためのホールを形成する。また、必要に応じて、半導体デバイスの樹脂モールド時におけるストレスを緩和するために、さらにポリイミド樹脂等の膜を積層してもよい。

【0132】本実施の形態においては、第1のシリコン酸化膜80および第2のシリコン酸化膜82によって高度に平坦化が達成されるため、バッシベーション機能を有するシリコン窒化膜86は付き回りがよく平坦に成膜され、局所的に膜厚が薄い部分や欠陥を生ずることがな

く、耐湿性や耐汚染性に優れた保護絶縁膜PLを構成することができる。さらに、前記保護絶縁膜PLでは、第2の金属配線層60において、隣接する金属配線層60aおよび60bの相互間に、窒化シリコンより誘電率の小さい酸化シリコンの膜が存在するため、シリコン基板11の表面と平行な方向（水平方向）における容量の寄与が小さくできる。そのため、誘電率の高いシリコン窒化膜が金属配線層の相互間に存在する構造に比べて、素子の動作速度等の電気特性を向上させることができる。

【0133】また、シリコン化合物と過酸化水素との縮合反応によって形成される第2のシリコン酸化膜82と、プラズマCVDによって形成される第1および3のシリコン酸化膜80および84は、前述したように、エッチング速度が同程度であるなど、ほぼ同じエッチング特性を有するので、ドライエッチングはもちろんのこと、例えばHFと NH_4F などの混酸による簡易なウエットエッチングを適用することができる。

【0134】なお、第2のシリコン酸化膜82に相当する膜として、たとえばSOG膜を用いた場合には、SOG膜のエッチング速度が大きいためにサイドエッチングが進み、このSOG膜より上の膜にチッピングやクラックが発生しやすい問題がある。

【0135】本実施の形態において、第1および第2の層間絶縁膜I1、I2ならびに保護絶縁膜PLが優れた平坦性を有する理由としては、以下のことが考えられる。

【0136】すなわち、図1(B)、図3(A)および図5に示す工程で形成される第2のシリコン酸化膜22、72および82は、シリコン化合物と過酸化水素との反応によって形成される、シラノールを含む反応生成物が高い流動性を有するため、ウエハ表面の凹凸がこれらの膜を形成した時点で高度に平坦化される。

【0137】また、本実施の形態において、コンタクトホール32およびビアホール62に、第1および第2のアルミニウム膜34、35ならびに第1および第2のアルミニウム膜64、65がそれぞれ良好に埋め込まれた理由としては、以下のことが考えられる。

【0138】(a) 脱ガス工程を行うことにより、各層間絶縁膜I1、I2に含まれる水や窒素をガス化して十分に放出することにより、その後の第1のアルミニウム膜34、64および第2のアルミニウム35、65の成膜において、層間絶縁膜I1、I2やバリア層33あるいはウェット層63からのガスの発生を防止することで、バリア層33と第1のアルミニウム膜34、ならびにウェット層63と第1のアルミニウム膜64との密着性を高め、良好なステップカバレッジの成膜が可能であったこと。

【0139】(b) 第1のアルミニウム膜34、64の成膜において、基板温度を200℃以下の比較的低温に設定することにより、層間絶縁膜I1、I2およびバリ

ア層 3 3 ならびにウェット層 6 3 に含まれる水分や窒素を放出させないようにして、前記脱ガス工程の効果に加えて第 1 のアルミニウム膜 3 4、6 4 の密着性を高めたこと。

【0140】(c) さらに、第 1 のアルミニウム膜 3 4、6 4 自体が、基板温度が上がった場合に下層からのガスの発生を抑制する役割を果たすため、次の第 2 のアルミニウム膜 3 5、6 5 の成膜を比較的高い温度で行うことができ、第 2 のアルミニウム膜の流動拡散を良好に行うことができること。

【0141】(半導体装置) 以上の方法によって、本実施の形態に係る半導体装置 (図 5 参照) を形成することができる。この半導体装置は、少なくとも MOS 素子を含むシリコン基板 1 1、および前記シリコン基板 1 1 の上に形成された第 1 の配線領域 L 1 を有する。前記第 1 の配線領域 L 1 は、ベース層となる第 1 のシリコン酸化膜 2 0、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第 2 のシリコン酸化膜 2 2、前記第 2 のシリコン酸化膜 2 2 の上に形成され、リンなどの不純物を含有する第 3 のシリコン酸化膜 2 4、および前記第 3 のシリコン酸化膜 2 4 の上に形成され、CMP により平坦化された第 4 のシリコン酸化膜 2 6 からなる第 1 の層間絶縁膜 I 1、前記層間絶縁膜 I 1 に形成されたコンタクトホール 3 2、前記層間絶縁膜 I 1 および前記コンタクトホール 3 2 の表面に形成されたバリア層 3 3、および前記バリア層 3 3 の上に形成された、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなるアルミニウム膜 3 4、3 5、を有する。そして、前記アルミニウム膜 3 4 は、バリア層 3 3 を介してチタンシリサイド層 1 9 に接続されている。

【0142】前記第 1 の配線領域 L 1 上に形成された第 2 の配線領域 L 2 は、ベース層となる第 1 のシリコン酸化膜 7 0、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第 2 のシリコン酸化膜 7 2、前記第 2 のシリコン酸化膜 7 2 の上に形成され、リンなどの不純物を含有する第 3 のシリコン酸化膜 7 4、および前記第 3 のシリコン酸化膜 7 4 の上に形成され、CMP により平坦化された第 4 のシリコン酸化膜 7 6 からなる第 2 の層間絶縁膜 I 2、前記層間絶縁膜 I 2 に形成されたビアホール 6 2、前記層間絶縁膜 I 2 および前記ビアホール 6 2 の表面に形成されたウェット層 6 3、および前記ウェット層 6 3 の上に形成された、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなるアルミニウム膜 6 4、6 5、を有する。

【0143】前記第 2 の配線領域 L 2 上に形成された保護絶縁膜 P L は、ベース層となる第 1 のシリコン酸化膜 8 0、シリコン化合物と過酸化水素との重縮合反応によって形成された第 2 のシリコン酸化膜 8 2、この第 2 のシリコン酸化膜 8 2 の上に形成され、リン等の不純物を含有する第 3 のシリコン酸化膜 8 4、およびこの第 3 の

シリコン酸化膜 8 4 の上に形成されたシリコン窒化膜 8 6 を有する。

【0144】以上のように、本実施の形態によれば、シリコン化合物と過酸化水素との気相反応によって得られる、シラノールの重縮物を含むシリコン酸化膜を形成することにより、極めて良好な平坦性を有する層間絶縁膜 I 1、I 2 および保護絶縁膜 P L を形成することができる。

【0145】そして、第 1 の層間絶縁膜 I 1 は、従来の B P S G 膜に比べてかなり低温で成膜することができるため、パンチスルーや接合リークなどの点で特性を改善することができ、したがって、素子の微細化および信頼性の高いコンタクト構造を達成することができ、また製造プロセス上も有利である。

【0146】また、層間絶縁膜 I 1、I 2 が高度な平坦性を有することから、配線層の加工などを含めたプロセスマージンを増加させ、品質および歩留まりを向上させることができる。

【0147】さらに、保護絶縁膜 P L では、平坦性の優れた第 2 のシリコン酸化膜 8 2 を有することから、均一の膜厚で欠陥が少なく、高いパッシベーション機能を有するシリコン窒化膜 8 6 を形成することができるだけでなく、同一層の金属配線層の相互間の容量の低減により電気的特性の向上を達成できる。

【0148】また、本実施の形態においては、アルミニウム膜のスパッタ前に少なくとも脱ガス工程と冷却工程を含み、さらに好ましくは同一チャンバ内で連続的にアルミニウム膜を成膜することにより、0. 2 μm 程度までのコンタクトホールおよびビアホールをアルミニウムあるいはアルミニウム合金だけで埋め込むことが可能となり、信頼性および歩留まりの点で向上がはかれた。また、コンタクト部を構成するアルミニウム膜における銅等の偏析や結晶粒の異常成長もなく、マイグレーション等を含めた信頼性の点でも良好であることが確認された。

【0149】(他の実施の形態) 本発明は上記実施の形態に限定されず、その一部を以下の手段で置き換えることができる。

【0150】(a) 前記実施の形態においては、第 3 のシリコン酸化膜 2 4、7 4 および 8 4 のプラズマ C V D による成膜時に、酸素を含む化合物として一酸化二窒素を用いたが、その代わりにオゾンを用いることもできる。そして、第 3 のシリコン酸化膜 2 4、7 4、8 4 を形成する前に、ウエハをオゾン雰囲気中にさらすことが望ましい。

【0151】例えば、図 8 に示すベルト炉を用い、ヒーター 8 2 によって 4 0 0 ~ 5 0 0 ° C に加熱された搬送ベルト 8 0 上にウエハ W を載置して所定の速度で移動させる。このとき、第 1 のガスヘッド 8 6 a からオゾンを供給し、2 ~ 8 重量%のオゾン雰囲気中を前記ウエハ W を

5分以上の時間をかけて通過させる。次いで、第2および第3のガスヘッド86b、86cからオゾン、TEOSおよびTMP ($P(OCH_3)_3$)をほぼ常圧で供給し、リンの濃度が3~6重量%のPSG膜(第3のシリコン酸化膜)24、74、84を、膜厚100~600nmで成膜する。なお、図8において符号84は、カバーを示す。

【0152】このように一酸化二窒素の代わりにオゾンを用いることにより、常圧CVDによってTEOSによるシリコン酸化膜を形成することができる。また、ベルト炉を用いることにより、成膜を連続的に効率よく行うことができる。

【0153】また、オゾン雰囲気中にウエハWをさらすことにより、熱脱離スペクトル(TDS)および赤外分光法(FTIR)によって、第2のシリコン酸化膜22、72、82は吸湿性や水分が十分少ないこと、反応ガスとして一酸化二窒素を用いた場合と同様に層間絶縁膜I1、I2の平坦性が良好であること、MOSTランジスタの特性が良好であること、および第2のシリコン酸化膜22、72、82にクラックが発生しないことが確認された。

【0154】(b)前記実施の形態では、第1のシリコン酸化膜20として、プラズマCVDによるTEOSを用いたシリコン酸化膜を用いたが、これに代わり他のシリコン酸化膜を用いてもよい。例えば、このような第1のシリコン酸化膜として、モノシランと一酸化二窒素を用いた減圧熱CVD法によって形成した膜でもよい。このシリコン酸化膜は、下層のシリコン基板の表面形状に忠実に成膜され、カバレージ性がよいだけでなく、緻密であるのでパッシベーション機能が高く、さらにアニール処理において急激に昇温しても第2のシリコン酸化膜22にクラックが発生しにくい。また、熱CVD法を用いるため、プラズマダメージがない利点がある。

【0155】ただし、この方法で成膜する際には、ウエハ温度を750~800℃程度に設定する必要があるため、サリサイド構造としてチタンシリサイドのように酸化されやすい膜上には使用できず、タングステンシリサイドあるいはモリブデンシリサイドを使用する必要がある。

【0156】(c)前記実施の形態では、第1の層間絶縁膜I1は、4層のシリコン酸化膜から構成されているが、これに限らず他のシリコン酸化膜を加えてもよい。例えば、第1のシリコン酸化膜20と第2のシリコン酸化膜22との間に、プラズマCVD法により形成された、膜厚100~300nmのPSG膜(リンの濃度:1~6重量%)を形成してもよい。このPSG膜を入れることにより、可動イオンのゲッターリング機能がさらに向上して、トランジスタのしきい値特性および静止電流の変動が減少することが確認された。

【0157】(d)前記実施の形態では、保護絶縁膜P

Lは、第3のシリコン酸化膜84を含むが、このシリコン酸化膜84を除く構成であってもよい。

【0158】なお、上記実施の形態では、2層の配線領域を含む半導体装置について述べたが、本発明はもちろん3層以上の配線領域を含む半導体装置にも適用でき、また、Nチャネル型MOS素子を含む半導体装置のみならず、Pチャネル型あるいはCMOS型素子などの各種の素子を含む半導体装置に適用することができる。さらに、上記実施の形態では、層間絶縁膜I1、I2の第4のシリコン酸化膜26、76をCMPによって平坦化した但、第2のシリコン酸化膜22、72が優れた平坦性を有するので、この工程は必ずしも設けなくともよい。

【0159】

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)、(B)および(C)は、本発明の半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図2】(A)および(B)は、図1に示す工程に続いて行われる半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図3】(A)および(B)は、図2に示す工程に続いて行われる半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図4】(A)および(B)は、図3に示す工程に続いて行われる半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図5】図4に示す工程について行われる半導体装置の製造方法の一例を模式的に示す断面図である。

【図6】本発明に係る実施の形態に用いられるスパッタ装置の一例を模式的に示す図である。

【図7】図5に示すスパッタ装置を用いて基板温度を制御したときの、時間と基板温度との関係を示す図である。

【図8】半導体装置の製造に用いられるベルト炉を模式的に示す図である。

【符号の説明】

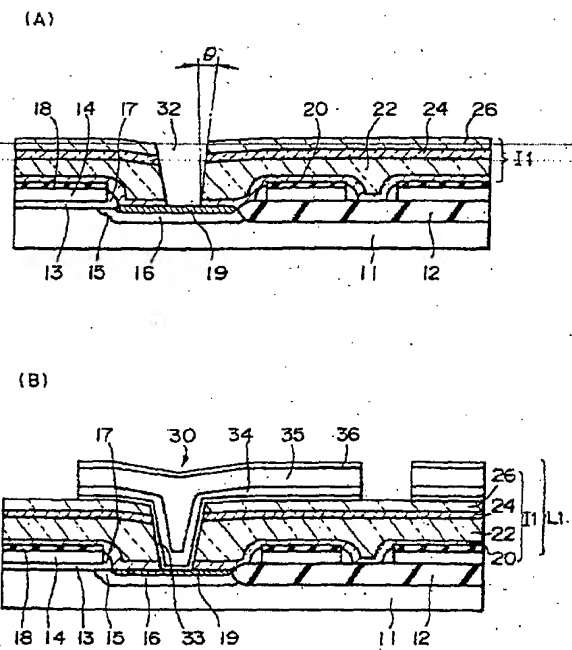
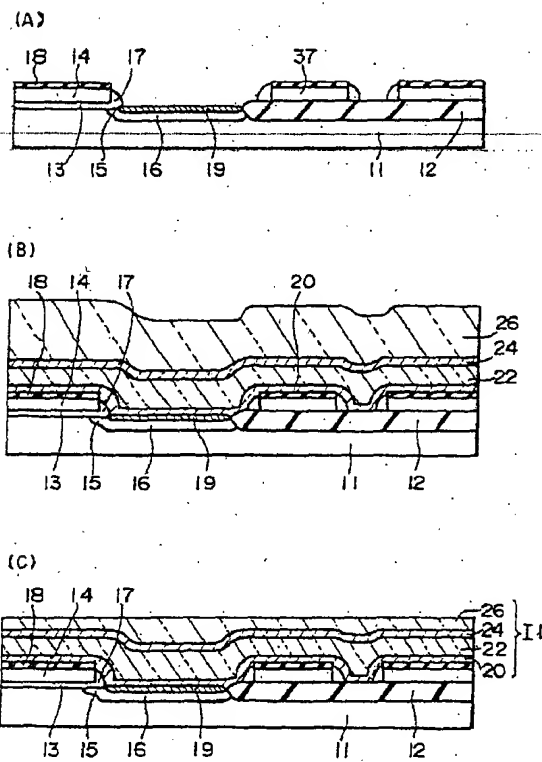
- 11 シリコン基板
- 12 フィールド絶縁膜
- 13 ゲート酸化膜
- 14 ゲート電極
- 15 低濃度不純物層
- 16 高濃度不純物層
- 17 側壁スペーサ
- 18 シリコン酸化膜
- 19 チタンシリサイド層
- 20 第1のシリコン酸化膜
- 22 第2のシリコン酸化膜
- 24 第3のシリコン酸化膜
- 26 第4のシリコン酸化膜
- 32 コンタクトホール

- 3 3 バリア層
- 3 4 第1のアルミニウム膜
- 3 5 第2のアルミニウム膜
- 6 2 ピアホール
- 6 3 ウェットング層
- 6 4 第1のアルミニウム膜
- 6 5 第2のアルミニウム膜
- 7 0 第1のシリコン酸化膜
- 7 2 第2のシリコン酸化膜

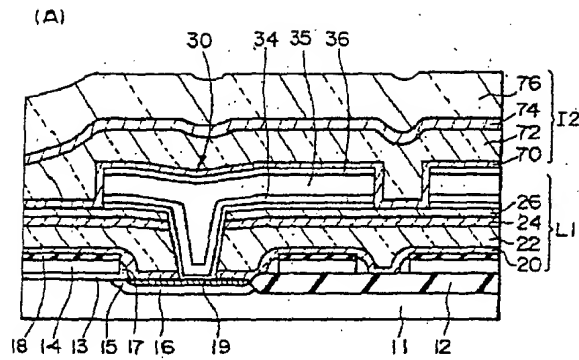
- 7 4 第3のシリコン酸化膜
- 7 6 第4のシリコン酸化膜
- 8 0 第1のシリコン酸化膜
- 8 2 第2のシリコン酸化膜
- 8 4 第3のシリコン酸化膜
- 8 6 シリコン窒化膜
- I 1, I 2 層間絶縁膜
- P L 保護絶縁膜
- L 1, L 2 配線領域

【図1】

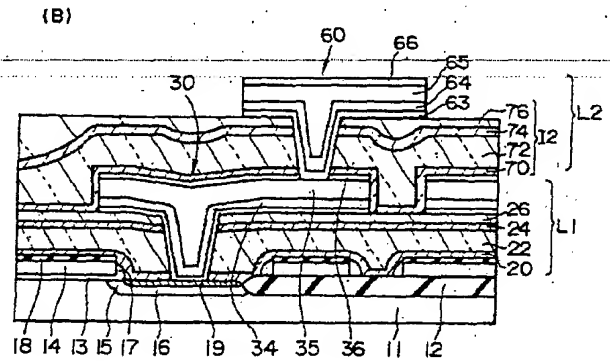
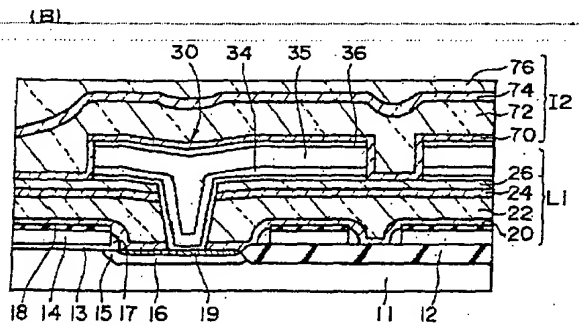
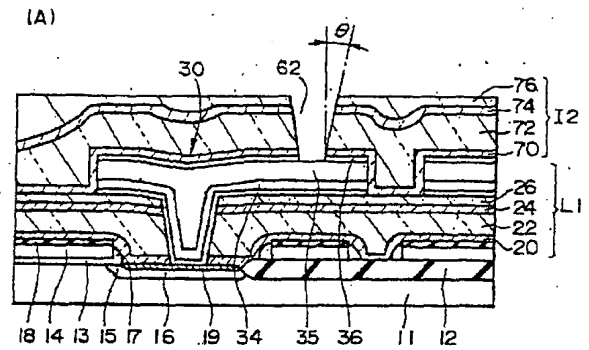
【図2】



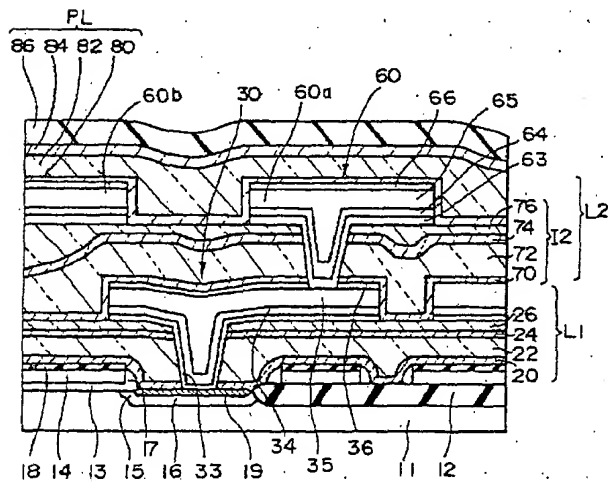
【図 3】



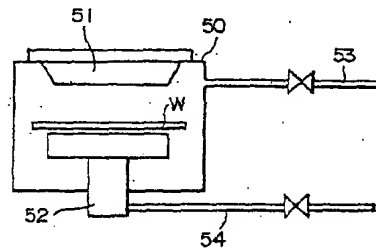
【図 4】



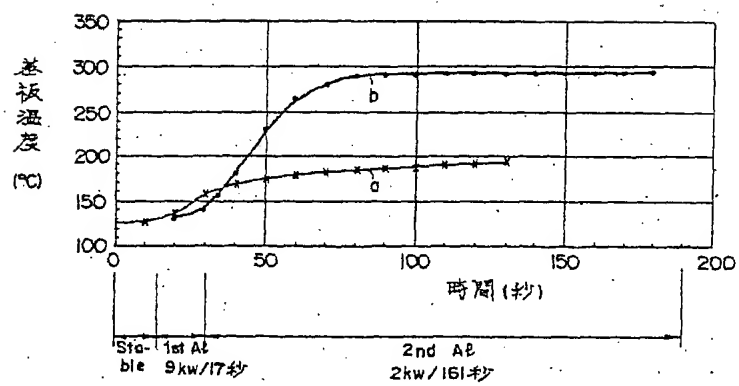
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【図 8】

